



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 11 795.4

**Anmeldetag:** 18. März 2003

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Drucksensor zur berührungslosen Druckmessung,  
mikromechanischer Druckschalter und  
mikromechanischer Druckänderungssensor

**IPC:** H 01 H, G 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag



5 13.03.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Beschreibung

10

Drucksensor zur berührungslosen Druckmessung,  
mikromechanischer Druckschalter und mikromechanischer  
Druckänderungssensor

15 Die Erfindung betrifft einen Drucksensor zum Messen von  
Gasdrücken, der mit einer Auswerteeinheit berührungslos in  
Verbindung steht, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1  
sowie eine Drucksensoranordnung zur Messung von Gasdrücken,  
gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 2.

20

Die Erfindung betrifft ferner einen mikromechanischen  
Druckschalter, der aus einem Halbleiter-Substrat hergestellt  
ist, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 5, sowie ein  
Verfahren zur Herstellung eines solchen mikromechanischen

25 Druckschalters gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 10.

Des weiteren betrifft die Erfindung einen mikromechanischen  
Druckänderungssensor zur Messung einer Druckänderung gemäß  
dem Oberbegriff des Patentanspruchs 15.

30

Drucksensoren zur Messung von Gasdrücken werden in einer  
Vielzahl von Anwendungen benötigt. Ein Beispiel aus dem Stand  
der Technik ist die Messung des Reifendrucks bei einem Kfz.  
Eine solche Messanordnung umfasst einen oder mehrere

35 Drucksensoren, die zusammen mit einer Auswerteelektronik und  
einem Sender im Innenraum eines Fahrzeugreifens angeordnet  
sind. Die Sensorsignale werden mit Hilfe einer

Auswerteelektronik ausgewertet und dann in Form von HF-  
Signalen (HF: Hochfrequenz) an einen stationär angeordneten  
40 Empfänger gesendet. Der Sendevorgang benötigt dabei relativ  
viel Energie. Um die HF-Datenübertragung zu gewährleisten,

5 ist ein Energiespeicher (Batterie) im Rad vorgesehen, der nach Ablauf der Lebensdauer ausgetauscht werden muss. Dieses System ist daher sehr aufwändig und kompliziert.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen  
10 Drucksensor bzw. eine Drucksensoranordnung zur berührungslosen Druckmessung zu schaffen, der bzw. die keine lokale Energiequelle (Batterie) zur Übertragung der Messdaten an einen Empfänger benötigt. Des weiteren ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen mikromechanischen  
15 Druckschalter, sowie einen mikromechanischen Druckänderungssensor zu schaffen, die aufgrund ihrer Baugröße, Robustheit und Präzision insbesondere zur Reifendruckmessung einsetzbar sind.

20 Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die in den Patentansprüchen 1, 2, 5, 10 und 15 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

25 Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, einen Drucksensor mit einem Druckschalter zu realisieren, der mit einer Resonatorschaltung, wie z.B. einer LC-Schaltung (elektrischer Schwingkreis), verbunden ist. Die  
Resonatorschaltung, vorzugsweise ein Serienschwingkreis, wird  
30 vom Schalter in Abhängigkeit vom vorherrschenden Druck ein- oder ausgeschaltet. Der eingeschaltete Zustand kann von einer extern angeordneten Auswerteeinheit erkannt werden.

Zur Durchführung einer Druckmessung wird der Drucksensor von  
35 einem externen Sender angeregt, der Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz der Resonatorschaltung aussenden kann. Der Sender umfaßt eine Auswerteelektronik, die den Absorptionsgrad und/oder die Resonanzantwort der Resonatorschaltung auswerten kann. Die Auswertung nach dem  
40 Prinzip der Absorption beruht auf der Tatsache, dass die Resonatorschaltung bei Anregung mit ihrer Resonanzfrequenz

5 wesentlich mehr Energie absorbiert als bei anderen  
Frequenzen. Dies kann am Sender festgestellt werden. Die  
Auswertung nach dem Prinzip der Resonanzantwort beruht  
darauf, dass die Resonatorschaltung, wenn sie in Resonanz  
ist, Oberwellen mit höheren Frequenzen aussendet, die von der  
10 Auswerteelektronik des Senders erfasst werden können. Eine  
Auswertung der Oberwellen (nach Frequenz und/oder Amplitude)  
erhöht die Zuverlässigkeit der Messung und bewirkt eine  
Reduzierung der Störempfindlichkeit.

15 Der wesentliche Vorteil eines erfindungsgemäßen Drucksensors  
bzw. einer erfindungsgemäßen Drucksensor-Messanordnung  
besteht darin, dass der Drucksensor rein passiv angeregt wird  
und keine eigene Energieversorgung, wie z.B. eine Batterie,  
benötigt. Der erfindungsgemäße Drucksensor kann daher  
20 besonders klein, einfach und kostengünstig hergestellt werden  
und hat darüber hinaus eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer.

Der Druckschalter des Drucksensors hat eine vorgegebene  
Schaltschwelle, bei deren Überschreiten der Druckschalter  
25 z.B. ein- und bei deren Unterschreiten der Druckschalter z.B.  
ausschaltet. Mit einem einzelnen Drucksensor kann somit nur  
festgestellt werden, ob der vorherrschende Druck über oder  
unter der vorgegebenen Schaltschwelle liegt. Um die Auflösung  
zu verbessern, wird vorgeschlagen, mehrere Drucksensoren in  
30 der Messanordnung vorzusehen, deren Druckschalter  
unterschiedliche Schaltschwellen und deren  
Resonatorschaltungen unterschiedliche Resonanzfrequenzen  
aufweisen.

35 Die Störfestigkeit einer solchen Anordnung kann wesentlich  
verbessert werden, wenn wenigstens zwei Drucksensoren  
verwendet werden, deren Druckschalter die gleiche oder nahezu  
gleiche Schaltschwelle haben, deren Resonatorschaltungen  
jedoch unterschiedliche Resonanzfrequenzen aufweisen. Dadurch  
40 wird eine Plausibilitätsüberprüfung möglich, mit der der  
Einfluss von Störfrequenzen eliminiert werden kann. Eine

5 Druckmessung ergibt in diesem Fall zwei Absorptionsmaxima bei diesen Resonanzfrequenzen. Eine Störfrequenz aus der Umgebung, die im Bereich nur einer der Resonanzfrequenzen liegt, kann somit das Meßergebnis nicht negativ beeinflussen.

10 Ein mikromechanischer Druckschalter gemäß der Erfindung ist aus einem Halbleiter-Substrat hergestellt und umfasst eine vorzugsweise im Halbleiter-Substrat angeordnete Ausnehmung, in der ein erster Kontakt angeordnet ist, sowie eine die Ausnehmung überspannende Membran, an der ein zweiter Kontakt  
15 angeordnet ist. Bei Überschreiten einer vorgegebenen Druckschwelle kommen die beiden Kontakte miteinander in Berührung und bilden eine elektrische Verbindung.

Die Membran besteht ebenso wie das Substrat vorzugsweise aus  
20 einem Halbleitermaterial, wie z.B. einer Epitaxieschicht. Vorzugsweise bestehen das Substrat und die Membran aus dem selben Material.

Die im Halbleiter-Substrat vorgesehene Ausnehmung ist  
25 vorzugsweise in einer Porös-Halbleiter-Technologie, insbesondere in PorSi-Technologie, hergestellt. Dabei wird in das Halbleiter-Substrat in einem ersten Schritt zunächst eine Dotierung eingebracht, wodurch ein dotierter Bereich (z.B. p-) entsteht, der in einem zweiten Schritt teilgeätzt wird,  
30 wodurch in diesem Bereich eine poröse Halbleiter-Struktur entsteht. In einem weiteren Verfahrensschritt wird auf dem Halbleiter-Substrat einschliesslich des porösen Bereichs eine Epitaxieschicht (mono- oder polykristallin) erzeugt, die später die Membran des Druckschalters bildet. Der unter der  
35 Epitaxieschicht liegende poröse Bereich wird schliesslich durch geeignete Prozessführung, insbesondere durch Anwendung hoher Temperaturen an den Rand des porösen Bereichs umgelagert (der poröse Bereich wird dabei verflüssigt). Ein Teil des porösen Bereichs lagert sich dabei an der Membran an  
40 und bildet den ersten Kontakt, und ein anderer Teil lagert

5 sich am Boden der Ausnehmung an und bildet den zweiten Kontakt.

In einem solchen Herstellungsverfahren kann ein besonders kostengünstiger, zuverlässiger und genauer Druckschalter mit  
10 sehr kleiner Bauform hergestellt werden.

Der Boden der Ausnehmung hat vorzugsweise einen in Richtung der Membran zeigenden Vorsprung, auf dem der zweite Kontakt angeordnet ist, der bei einer Durchbiegung der Membran zuerst  
15 mit dieser bzw. dem ersten Kontakt in Berührung kommt.

Wahlweise kann am Boden der Ausnehmung auch eine Vertiefung vorgesehen sein, an deren Rand elektrische Kontakte angeordnet sind, die bei einer Durchbiegung der Membran elektrisch überbrückt werden. Unterhalb der Druckschwelle des  
20 Schalters sind die am Boden der Ausnehmung befindlichen Kontakte elektrisch voneinander getrennt.

Zur seitlichen Begrenzung der Ausnehmung wird das Halbleitersubstrat vor der Herstellung der Ausnehmung  
25 vorzugsweise mit einem zweiten Dotierbereich versehen, der die Ausnehmung umfangsseitig begrenzt.

Die Kontaktanschlüsse des erfindungsgemäßen Druckschalters sind vorzugsweise auf der Epitaxieschicht angeordnet.  
30

Ein erfindungsgemäßer mikromechanischer Druckänderungssensor ist vorzugsweise aus einem Halbleiter-Substrat hergestellt und umfasst eine ebenfalls aus Halbleitermaterial hergestellte Membran. Der Druckänderungssensor umfasst eine  
35 im Halbleiter-Substrat angeordnete Ausnehmung, sowie eine Membran, die die Ausnehmung überspannt. Der erfindungsgemäße Druckänderungssensor hat ferner Druckausgleichsmittel (z.B. Ventile oder Kanäle mit definierter Durchflusscharakteristik), welche die Ausnehmung mit der Umgebung verbinden und  
40 einen Druckausgleich zwischen dem Druck in der Ausnehmung und dem Aussendruck ermöglichen. Bei einer Druckänderung wird die

5 Membran daher nur vorübergehend durchgedrückt und kehrt  
danach aufgrund des Druckausgleichs zwischen Ausnehmung und  
Umgebung wieder in die Ruhelage zurück.

Die Zeitkonstante dieses Vorgangs kann durch entsprechende  
10 Dimensionierung der Druckausgleichsmittel eingestellt werden.  
Ein erfindungsgemäßer Druckänderungssensor hat den Vorteil,  
dass er wesentlich unempfindlicher gegenüber hohen Drücken  
ist als z.B. ein Druckschalter. Im Unterschied zum  
Druckschalter, auf dessen Membran der gesamte Absolutdruck  
15 lastet und die dementsprechend mehr oder weniger stark  
durchgebogen ist, lastet auf der Membran des  
erfindungsgemäßen Druckänderungssensors bei statischem  
Aussendruck kein Druck. Dadurch wird eine Absolutdruck  
unabhängige hohe Empfindlichkeit realisierbar.

20

Die Druckausgleichsmittel des mikromechanischen  
Druckänderungssensors werden vorzugsweise in Porös-  
Halbleiter-Technologie hergestellt. D.h., im  
Halbleitermaterial wird durch Teilätzen eine poröse Struktur  
25 erzeugt, durch die ein Druckausgleich erfolgen kann. Die  
charakteristischen Eigenschaften des Druckänderungssensors  
werden durch die Fläche und die Porosität (definiert durch  
Stromdichte, Dotierung und HF-Konzentration im  
Herstellungsprozess) des Druckausgleichsbereichs festgelegt.

30

Wahlweise können auch Druckausgleichskanäle im Halbleiter-  
Substrat oder in der Membran hergestellt werden.


Die Membran wird vorzugsweise von einer Epitaxieschicht  
35 gebildet, die auf das Halbleitersubstrat aufgewachsen ist.

Die Durchbiegung der Membran, welche ein Maß für die  
vorherrschende Druckänderung ist, wird vorzugsweise durch  
piezoresistive Widerstände aufgenommen, die auf oder in der  
40 Membran angeordnet sein können. Die piezoresistiven  
Widerstände sind mit einer Auswerteelektronik verbunden,

- 5 welche z.B. die Druckänderungsrate anzeigt. Eine kapazitive oder ähnliche Auswertung ist ebenfalls realisierbar.

Zur Vermeidung von Verschmutzungen des Druckausgleichsbereichs (des porösen Bereichs bzw. der Druckausgleichskanäle) kann der Druckänderungssensor durch  
10 ein Gehäuse, das zur Medientrennung vorzugsweise selbst eine Membran aufweist, geschützt werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten  
15 Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

 Fig. 1 eine Messanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

20 Fig. 2 eine Drucksensor-Messanordnung mit mehreren Drucksensoren;

Fig. 3 einen mikromechanischen Druckschalter gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

25 Fig. 4 den mikromechanischen Druckschalter von Fig. 3 im druckbeaufschlagten Zustand;


 Fig. 5a-5f verschiedene Prozessschritte bei der Herstellung des Druckschalters von Fig. 3;

Fig. 6a, 6b verschiedene Prozessschritte bei der Herstellung eines Druckschalters gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung;

35 Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Druckänderungssensors; und

40 Fig. 8 eine Querschnittsansicht eines mikromechanischen Druckänderungssensors gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.



5

Der Drucksensor

Fig. 1 zeigt eine Messanordnung zur berührungslosen Druckmessung von Gasdrücken, wie z.B. dem Reifendruck in einem Fahrzeugreifen. Die dargestellte Drucksensor-Messanordnung umfasst einen Drucksensor 1, der z.B. im Fahrzeugreifen angeordnet ist, sowie einen externen (stationär angeordneten) Sender 5 mit einer Auswerteelektronik 6.

15

Der Drucksensor 1 umfasst einen Druckschalter 2, insbesondere einen mikromechanischen Druckschalter, an dem eine LC-Reihenschaltung, bestehend aus einer Induktivität 4 und einer Kapazität C, angeschlossen ist. Der Druckschalter 2 schaltet die LC-Schaltung 3,4 in Abhängigkeit vom vorherrschenden Druck ein oder aus. Liegt der Druck über der Schaltschwelle  $P_1$  des Druckschalters 2, so ist der Druckschalter 2 eingeschaltet. Bei einem geringeren Druck als  $P_1$  ist der Schalter ausgeschaltet.

25

Der Drucksensor 1 arbeitet rein passiv und bedarf keiner eigenen Energieversorgung, wie z.B. einer Batterie. Bei einer Messung wird der Drucksensor 1 vom externen Sender 5 angeregt, der Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz der LC-Schaltung 3,4 aussenden kann. Bei geschlossenem Druckschalter 2 ( $P > P_1$ ) und Anregung mit der Resonanzfrequenz kommt der LC-Schwingkreis 3,4 in Resonanz und absorbiert in diesem Zustand ein wesentlich höheres Maß an Sendeenergie wie ausserhalb des Resonanzbereichs. Durch Auswertung des Absorptionsgrades kann somit eine Druckmessung durchgeführt werden.

Wahlweise kann auch die Resonanzantwort des LC-Schwingkreises 3,4 ausgewertet werden. Die LC-Schaltung 3,4 sendet, wenn sie sich in Resonanz befindet, neben der Resonanzfrequenz auch Oberwellen aus, die von der Auswerteelektronik 6 des Senders

40

5 5 erfasst werden können. Eine besonders genaue und störteste  
Messung kann z.B. durch Anwendung beider Auswertemethoden  
erreicht werden.

#### Drucksensor-Messanordnung mit mehreren Drucksensoren

10

Fig. 2 zeigt eine Drucksensor-Messanordnung mit mehreren  
Drucksensoren 1a-1e gemäß Fig. 1, deren Druckschalter 2  
unterschiedliche Schaltschwellen  $P_i$  und deren LC-Schaltungen  
3,4 unterschiedliche Resonanzfrequenzen  $f_i$  aufweisen. Der  
15 Sender 5 ist in diesem Fall in der Lage, Frequenzen zwischen  
der niedrigsten Resonanzfrequenz  $f_1$  und der höchsten  
Resonanzfrequenz  $f_5$  auszusenden und die Resonanzantwort bzw.  
den Absorptionsgrad der einzelnen Drucksensoren 1a-1e  
auszuwerten.

20

Liegt der Druck z.B. zwischen dem Druck  $P_3$  und  $P_4$ , sind die  
Druckschalter 2 der Drucksensoren 1a-1c geschlossen und die  
Druckschalter 2 der Drucksensoren 1d,1e geöffnet. Bei einer  
Messung werden daher nur die Drucksensoren 1a-1c ansprechen  
25 und in Resonanz geraten, nicht dagegen die Drucksensoren  
1d,1e.

Zur Vermeidung von Messfehlern aufgrund äußerer Störfelder,  
die Frequenzen nahe einer Resonanzfrequenz  $f_i$  aussenden,  
30 können die Drucksensoren 1a-1e jeweils mehrere Druckschalter  
2 mit gleicher Schaltschwelle aufweisen, deren LC-Schaltungen  
jedoch unterschiedliche Resonanzfrequenzen haben. Bei  
Überschreiten der Schaltschwelle können somit mehrere  
Absorptionsmaxima bei verschiedenen Sendefrequenzen  
35 festgestellt werden. Da eine mögliche Störquelle meist nur  
Störsignale mit einer Frequenz aussendet, kann die Störung  
als solche erkannt werden.

40

## 5 Der Druckschalter

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform eines mikromechanischen Druckschalters, der beispielsweise zur Reifendruckmessung eingesetzt werden kann. Der Druckschalter 10 besteht aus einem dotierten Halbleiterchip 12 und umfasst eine Ausnehmung 14, die von einer Membran 13 abgedeckt wird. Die Ausnehmung ist umfangsseitig von einem  $n^+$  dotierten Bereich 15 eingegrenzt.

15 Der Bodenbereich der Ausnehmung 14 umfaßt einen Kontakt 17. Ein zweiter Kontakt 16 ist an der Membran 13 angeordnet. Die Kontakte 16,17 sind in der drucklosen Ruhestellung, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist, voneinander beabstandet.

20 Fig. 4 zeigt den Zustand des Druckschalters 10 unter Einwirkung von Druck. In diesem Zustand ist die Membran nach unten durchgebogen, so dass sich die Kontakte 16,17 berühren und der Stromkreis geschlossen wird. Der Strom kann über die Kontakte 18a, die p-Dotierungen 22a,23a, die Kontakte 16,17, 25 das p-dotierte Halbleiter-Substrat 12, die p-Dotierungen 22b,23b und den Kontakt 18b durch den Druckschalter 10 fließen.

## Herstellung eines Druckschalters

30 Die wesentlichen Prozessschritte bei der Herstellung eines solchen Druckschalters 10 werden in den Fig. 5a-5e beispielhaft näher erläutert: Fig. 5a zeigt eine Schnittansicht durch einen Si-Chip mit zwei  $n^+$  dotierten Bereichen 15, die die umfangsseitige Begrenzung der in einem späteren Prozessstadium hergestellten Ausnehmung 14 bilden. Die  $n^+$  dotierten Bereiche 15 sind in einem vorgegebenen Abstand voneinander angeordnet.

40 Fig. 5b zeigt den Druckschalter 10 nach einem zweiten Prozessschritt, bei dem ein vorgegebener Bereich zwischen den

- 5  $n^+$ -Gebieten 15  $p^+$  dotiert wird. Das Bezugszeichen 27 bezeichnet eine im Lithographieprozess verwendete Maske. Die Dotierbereiche 24 werden vorzugsweise bei hohen Temperaturen in das Substrat 12 eingetrieben, um eine tiefere  $p^+$ -Dotierung zu erhalten.
- 10 Fig. 5c zeigt den Druckschalter 10 nach einer zweiten  $p^+$ -Dotierung, in der der gesamte Bereich zwischen den  $n^+$ -Dotierungsbereichen 15 nochmals  $p^+$  dotiert wird. Die  $p^+$ -Dotierung kann gegebenenfalls nochmals bei hohen Temperaturen
- 15 eingetrieben werden. Dabei entsteht ein  $p^+$ -dotierter Bereich 25, der später die Ausnehmung 14 bildet. Daneben wird ein weiterer  $p$ -dotierter Bereich 23b hergestellt, der zur Kontaktierung des Druckschalters 10 dient.
- 20 Fig. 5d zeigt einen Zustand des Druckschalters 10 nach einem weiteren Prozessschritt, bei dem durch Teilätzen (wird auch als PorSi-Prozess bezeichnet) mit Hilfe eines Ätzmittels und durch Anlegen von Strom ein poröser Bereich 26 erzeugt wird.
- 25 In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird die Oberfläche des Halbleiterchips 12 einschliesslich des porösen Bereichs 26 mit einer Epitaxieschicht 11 versehen. Danach wird die Ausnehmung 14 erzeugt. Durch Einwirkung hoher Temperaturen
- 30 beginnt sich der poröse Bereich 26 zu verflüssigen und lagert sich einerseits an der Membran 13 und andererseits am Boden der Ausnehmung 14 an. Die Anlagerungen bilden die Kontakte 16 bzw. 17. In der Mitte der Ausnehmung 14 verbleibt ein in Richtung der Epitaxieschicht 11 zeigender Vorsprung 19.
- 35 An den seitlichen,  $n^+$  dotierten Bereichen 15 kommt es zu keiner Anlagerung und Umdotierung, da die Dotierstoffkonzentration der  $n^+$ -Bereiche 15 vorzugsweise wesentlich höher ist, als die des  $p^+$ -Bereichs 26.
- 40 Fig. 5e zeigt den Druckschalter 10 mit der Ausnehmung 14 und den Kontakten 16,17.

5

Fig. 5f zeigt die zur elektrischen Kontaktierung des Druckschalters 10 vorgesehenen  $p^+$ -Dotierungsbereiche 22a, 22b. Die  $p^+$ -Dotierung 23b entsteht durch thermisches Eintreiben der in Fig. 5b dargestellten  $p^+$ -Dotierung 23b in die Epitaxieschicht 11. Ferner werden Kontakte 18a, 18b auf die Oberfläche der Epitaxieschicht 11 aufgebracht und über Bonddrähte 20, 21 kontaktiert.

Der Arbeitsbereich und die Empfindlichkeit des Druckschalters 10 werden durch den Abstand der  $n^+$  dotierten Gebiete 15, die Dicke der Epitaxieschicht 11 und den Abstand zwischen den Kontakten 16 und 17 bestimmt.

Die Fig. 6a und 6b zeigen zwei Prozessstadien eines Druckschalters 10, bei dem anstelle des Vorsprungs 19 eine Vertiefung 29 am Boden der Ausnehmung 14 vorgesehen ist. Die einzelnen Verfahrensschritte entsprechen sonst grundsätzlich denen der Fig. 5a bis 5f.

Fig. 6a zeigt den Druckschalter 10 nach der Herstellung unterschiedlich großer Dotierbereiche 28a, 28b (beide z.B.  $p^+$ ) im Substrat 12. Diese werden wiederum in einem Porös-Halbleiter-Prozess durch Teilätzen und Anwendung hoher Temperaturen in die Ausnehmung 14 mit einer Vertiefung 29 umgewandelt. Das Material der Bereiche 28a und 28b lagert sich wiederum an der Epitaxieschicht 11 bzw. am Boden der Ausnehmung 14 an und bildet dort die Kontakte 16 und 17a, 17b.

Fig. 6b zeigt einen Zustand des Druckschalters 10 nach der Herstellung der Ausnehmung 14 mit der Vertiefung 29. Am Rand der Vertiefung 29 bilden sich Kontakte 17a, 17b, die im dargestellten Ruhezustand elektrisch voneinander getrennt sind. Bei ausreichend hohem Außendruck biegt sich die Membran 13 nach innen durch, so dass der an der Membran befindliche Kontakt 16 die Kontakte 17a, 17b elektrisch überbrückt. Die

- 5 Kontakte 17a, 17b müssen von außen in geeigneter Weise kontaktiert werden (nicht gezeigt).

#### Der Druckänderungssensor

- 10 Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Druckänderungssensors mit einer Membran 33. Unter der Bezeichnung „Druckänderungssensor“ wird in dieser Beschreibung ein Sensor verstanden, mit dem unabhängig vom Absolutdruck eine Druckänderung festgestellt werden kann.

15

- Der dargestellte Druckänderungssensor 30 besteht aus einem Halbleiter-Substrat 32 mit einer Ausnehmung 34, die von einer Membran 33 überdeckt wird. Der Druckänderungssensor 30 umfasst ferner Druckausgleichsmittel, wie z.B. einen Druckausgleichskanal 31 mit einem definierten Strömungswiderstand, der die Ausnehmung 34 mit der Umgebung verbindet.

- Bei stationärem Druck befindet sich die Membran 33 in der Ruhestellung (siehe Fig. 8). Bei einem Druckabfall wölbt sich die Membran 33 nach außen und bei einer Druckzunahme nach innen. Die Durchwölbung der Membran 33 wird durch geeignete Sensorelemente 36, wie z.B. piezoresistive Widerstände erfasst, die in oder auf der Membran angeordnet sind. Nach einer vorgegebenen Zeit gleicht sich der Innendruck in der Ausnehmung 34 an den Aussendruck an, wobei Luft bzw. Gas durch den Kanal 31 nach innen in den Hohlraum 34 oder nach außen in die Umgebung strömt. Die gewölbte Membran 33 kehrt dabei langsam wieder in die Ruhelage zurück.

35

Die Ausnehmung 34 kann entweder im Substrat 32 oder, wie gezeigt, in einer auf dem Substrat angeordneten Schicht 37 vorgesehen sein.

5 Da der Druckänderungssensor 30 unabhängig vom Absolutdruck funktioniert und nur Druckänderungen standhalten muß, kann der Druckänderungssensor 30 relativ einfach aufgebaut sein.

Fig. 8 zeigt einen Querschnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform eines Druckänderungssensors 30. Der Druckänderungssensor 30 besteht aus einem Halbleiter-Substrat 32, wie z.B. p-dotiertem Silizium. Im Halbleiter-Substrat 32 ist eine Ausnehmung 34 vorgesehen, die umfangsseitig von einem  $n^+$ -dotierten Bereich 35 begrenzt ist. Eine auf der Oberfläche des Halbleiter-Substrats 32 aufgebrachte Epitaxieschicht 37 bildet gleichzeitig die Membran 33 des Druckänderungssensors 30.

Die Epitaxieschicht 37 ist über Kontakte 38, an denen Bonddrähte 39,40 befestigt sind, angeschlossen.

Die Ausnehmung 34 kann beispielsweise in einem Porös-Halbleiter-Prozess hergestellt werden, bei dem durch Anwendung eines geeigneten Ätzmittels und Anlegen von Strom zunächst ein poröser Bereich, z.B. ein PorSi-Bereich erzeugt wird, der in einem anschliessenden Prozessschritt unter Einwirkung hoher Temperaturen geschmolzen und umgelagert wird.

30 Zum Druckausgleich zwischen der Ausnehmung 34 und dem Aussenraum sind Druckausgleichskanäle 31 vorgesehen, die in der Membran 33 oder im Halbleiter-Substrat 32 angeordnet sein können. Die Druckausgleichskanäle 31 können z.B. in einem PorSi-Prozess oder in einem herkömmlichen Ätzprozess  
35 hergestellt werden.

Bei einer Zunahme des Aussendrucks wölbt sich die Membran 33 nach innen, in die Ausnehmung 34 hinein, bei einer Abnahme des Aussendrucks nach aussen. Wegen der Kanäle 31 erfolgt dann ein Druckausgleich zwischen der Ausnehmung 34 und dem  
40 Außenraum, und die Membran 33 kehrt nach einer durch die

- 5 Strömungseigenschaften der Kanäle 31 vorgegebenen Zeit wieder in die entspannte Ruheposition zurück. Das Ausgangssignal der Sensorelemente 36 wird nach dieser Zeit den „Nullwert“ wieder annehmen.
- 10 Zur Vermeidung von Verschmutzungen der Druckausgleichskanäle 31 kann der Sensor in einem Gehäuse (nicht gezeigt) untergebracht werden, das z.B. selbst eine Membran zur Medientrennung aufweisen kann.



5 13.03.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

## Bezugszeichenliste

10	1	Drucksensor
	2	Druckschalter
	3	Kapazität
	4	Induktivität
15	5	Sender
	6	Auswerteelektronik
	10	Druckschalter
	11	Epitaxieschicht
	12	Halbleiter-Substrat
20	13	Membran
	14	Ausnehmung
	15	n <sup>+</sup> dotierter Bereich
	16	erster Kontakt
	17	zweiter Kontakt
25	18	Anschlusskontakt
	19	Vorsprung
	20	Bondung
	21	Bonddraht
	22a, 22b	p-Dotierung
30	23a, 23b	p-Dotierung
	24	p <sup>+</sup> -Dotierung
	25	zweite p <sup>+</sup> -Dotierung
	26	poröser Bereich
	27	Maske
35	28	Dotierbereich
	29	Vertiefung
	30	Druckänderungssensor
	31	Druckausgleichskanäle
	32	Halbleiter-Substrat
40	33	Membran
	34	Ausnehmung

5	35	n <sup>+</sup> dotierte Bereiche
	36	Sensorelemente
	37	Epitaxieschicht
	38	Kontakte
	39	Bondung
10	40	Bonddrähte

5 13.03.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Patentansprüche

10

1. Drucksensor (1) zur Messung von Gasdrücken, mit einem Druckschalter (2), der in Abhängigkeit vom vorherrschenden Druck (P) ein- oder ausgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckschalter (2) mit einer

15 Resonatorschaltung (3,4) verbunden ist, die vom Druckschalter (2) ein- und ausgeschaltet werden kann.

2. Messanordnung (1,5) zum berührungslosen Messen von Gasdrücken, mit einem Drucksensor (1) und einem separat  
20 angeordneten Sender (5), dadurch gekennzeichnet, dass der Drucksensor (1) einen Druckschalter (2) aufweist, der mit einer Resonatorschaltung (3,4) verbunden ist, die in Abhängigkeit vom vorherrschenden Druck (P) ein- oder ausgeschaltet wird, und dass der Sender (5) die  
25 Resonatorschaltung (3,4) berührungslos anregt und den Absorptionsgrad oder die Resonanzantwort des Drucksensors (1) auswertet.

3. Messanordnung (1,5) nach Anspruch 2, dadurch  
30 gekennzeichnet, dass mehrere Drucksensoren (1a-1e) vorgesehen sind, deren Druckschalter (2) unterschiedliche Schaltschwellen und deren LC-Schaltungen (3,4) unterschiedliche Resonanzfrequenzen aufweisen.

35 4. Messanordnung (1,5) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Drucksensoren (1a-1e) vorgesehen sind, von denen wenigstens zwei gleiche Schaltschwellen ( $P_i$ ) aber unterschiedliche Resonanzfrequenzen ( $f_i$ ) aufweisen.

- 5 5. Mikromechanischer Druckschalter (10) zur Messung von Gasdrücken, der aus einem Halbleiter-Substrat (12) hergestellt ist, gekennzeichnet durch
- eine Ausnehmung (14) mit einem ersten Kontakt (17), und
  - eine Membran (13) mit einem zweiten Kontakt (16), die die
- 10 Ausnehmung (14) überspannt.
6. Mikromechanischer Druckschalter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl das Substrat (12) als auch die Membran (13) aus einem Halbleitermaterial hergestellt sind.
- 15 7. Mikromechanischer Druckschalter nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (13) aus einer Epitaxieschicht (11) gebildet ist.
- 20 8. Mikromechanischer Druckschalter nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Substrat (12) im Bereich der Ausnehmung (14) einen in Richtung der Membran (13) zeigenden Vorsprung (19), auf dem der erste Kontakt (17) angeordnet ist, oder eine Vertiefung aufweist.
- 25 9. Mikromechanischer Druckschalter nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmung (14) in einer Porös-Halbleiter-Technologie hergestellt ist.
- 30 10. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Druckschalters (10) aus einem Halbleiter-Substrat (12), gekennzeichnet durch folgende Schritte:
- Einbringen einer Dotierung (p) in das Halbleiter-Substrat (12),
- 35 - Teilätzen des dotierten Bereichs (25) und Erzeugen einer porösen Halbleiter-Struktur (26),
- Aufbringen einer Schicht (11) auf das Halbleiter-Substrat (12) einschliesslich des porösen Bereichs (26), die die Membran (13) des Druckschalters (10) bildet, und
- 40 - Umlagern des porösen Bereichs (26) durch geeignete Prozessführung, so dass sich eine Ausnehmung (14) bildet,

- 5 wobei sich ein Teil des porösen Bereichs (26) an der Membran (13) anlagert und einen ersten Kontakt (16) bildet, und sich ein Teil des porösen Bereichs (26) am Halbleitersubstrat (12) anlagert und dort einen zweiten Kontakt (17) bildet.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Substrat (12) vor der Herstellung der Ausnehmung (14) mit einem zweiten Dotierbereich (15) versehen wird, der die umfangsseitige Ausdehnung der Ausnehmung (14) im Halbleiter-Substrat (12) festlegt.
- 15 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmung (14) in Porös-Silizium-Technologie hergestellt wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktanschlüsse (18) des Druckschalters (10) an der Oberseite der Epitaxieschicht (11) angeordnet werden.
- 25 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ausnehmung (14) ein in Richtung der Membran (13) zeigender Vorsprung (19) oder eine Vertiefung hergestellt wird.
- 30 15. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) zur Messung von Gasdrücken, der aus einem Halbleitersubstrat (32) hergestellt ist, gekennzeichnet durch
- eine Ausnehmung (34),
  - 35 - eine Membran (33), die die Ausnehmung (34) überspannt, und
  - Druckausgleichsmittel (31), über die die Ausnehmung (34) mit der Umgebung in Verbindung steht.
- 40 16. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmung (34) im Halbleiter-Substrat (32) durch Porös-Ätzen hergestellt wird.

5

17. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckausgleichsmittel (31) im Halbleiter-Substrat (32) oder in der Epitaxieschicht (37) in Form wenigstens eines Druckausgleichskanals (31) vorgesehen sind.

10

18. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (33) von einer Epitaxieschicht (37) gebildet wird.

15

19. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckausgleichsmittel (31) durch Teilätzen erzeugt werden, wobei ein poröser Bereich entsteht.

20

20. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass piezoresistive Widerstände (36) an der Membran (33) vorgesehen sind.

25

21. Mikromechanischer Druckänderungssensor (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ausnehmung (34) ein in Richtung der Membran (33) zeigender Vorsprung (19) vorgesehen ist, der einen ersten Kontakt (16) aufweist und an der Unterseite der Membran (33) ein zweiter Kontakt (17) vorgesehen ist, der mit dem ersten Kontakt (16) in Berührung bringbar ist.

30

5 13.03.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Zusammenfassung

10

Drucksensor zur berührungslosen Druckmessung,  
mikromechanischer Druckschalter und mikromechanischer  
Druckänderungssensor

15 Die Erfindung betrifft einen Drucksensor (1) zur  
berührungslosen Druckmessung, insbesondere von Gasdrücken,  
mit einem Druckschalter (2), der in Abhängigkeit vom  
vorherrschenden Druck (P) ein- oder ausgeschaltet ist. Ein  
besonders robuster und langlebiger Drucksensor (1) kann  
20 realisiert werden, wenn eine mit dem Druckschalter (2)  
verbundene LC-Schaltung (3,4) vorgesehen wird, die in  
Abhängigkeit vom vorherrschenden Druck (P) ein- oder  
ausgeschaltet wird.

25 Fig. 1

1 / 5

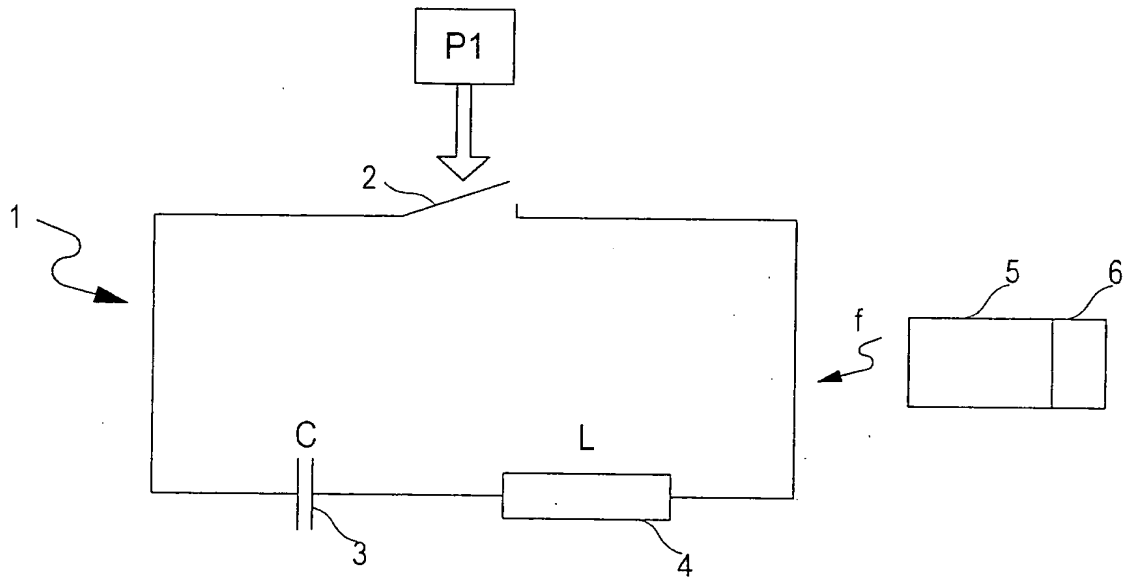


Fig. 1

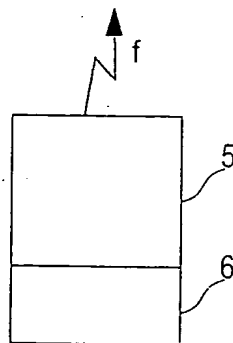
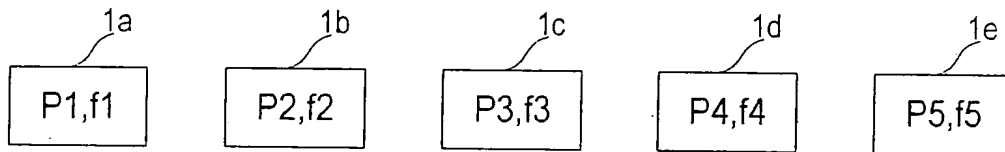
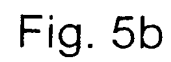
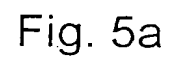
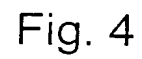
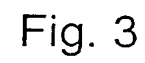
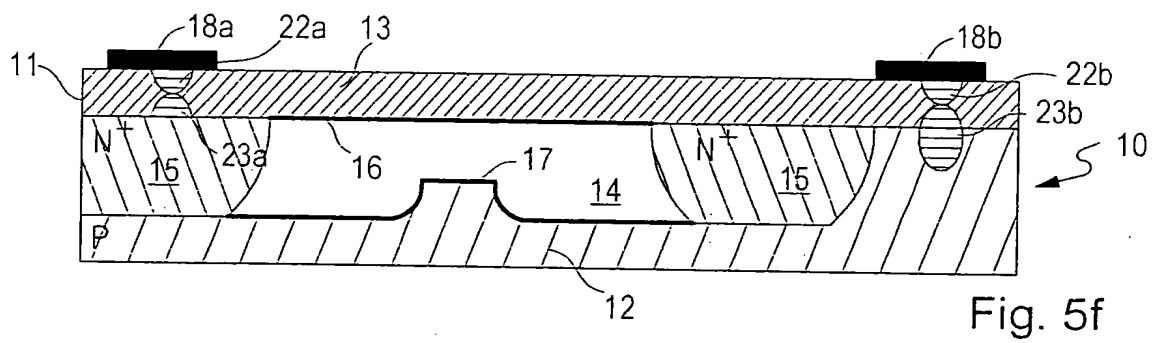
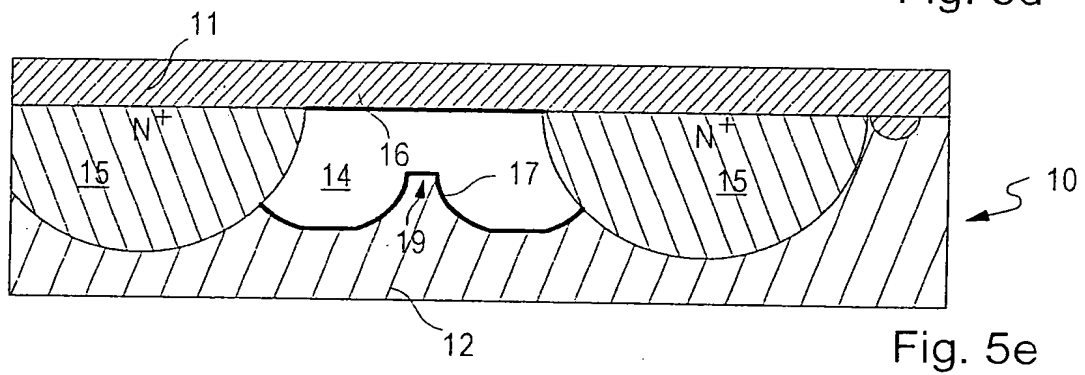
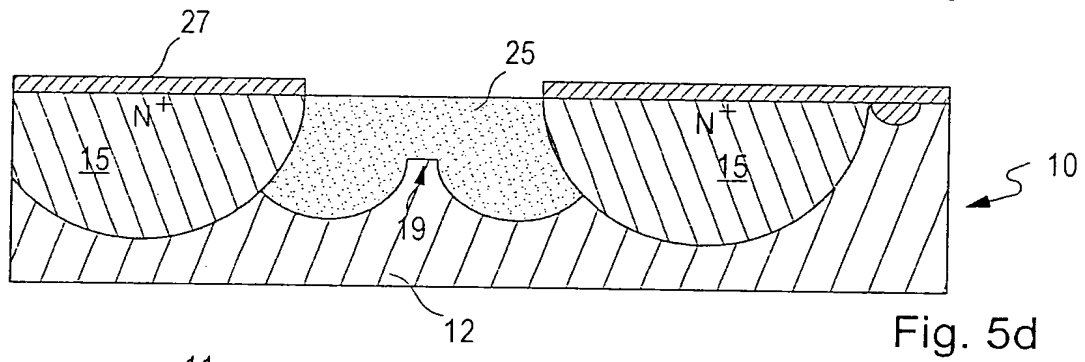
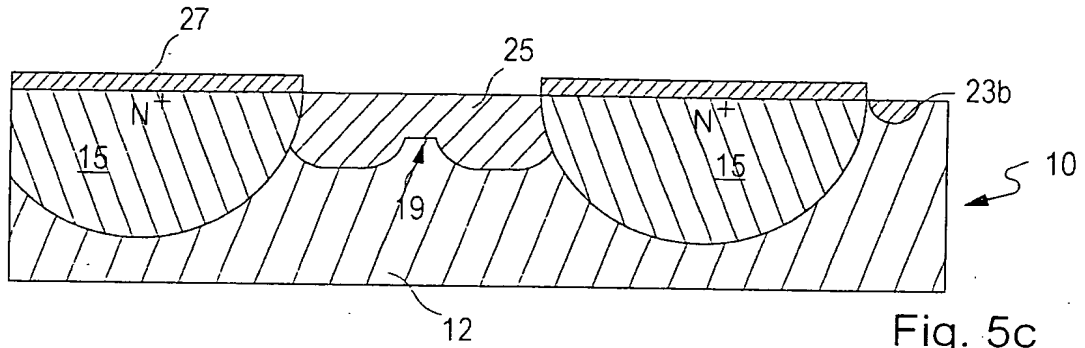


Fig. 2

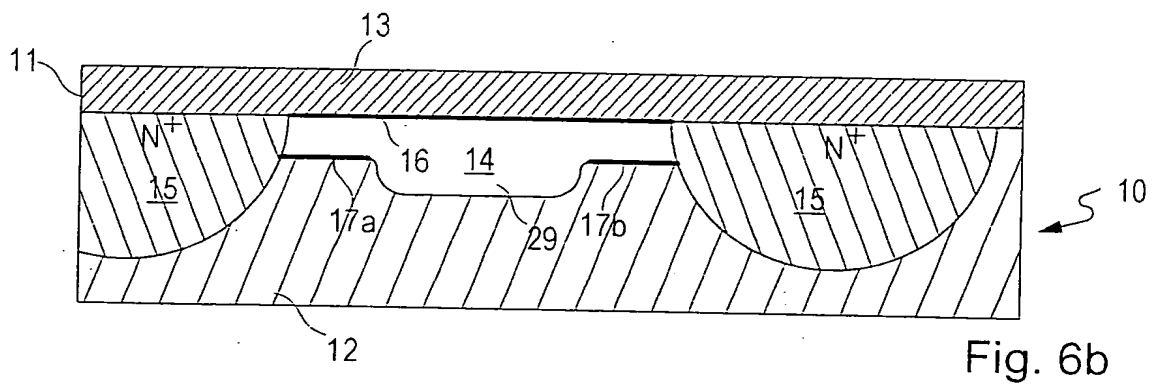
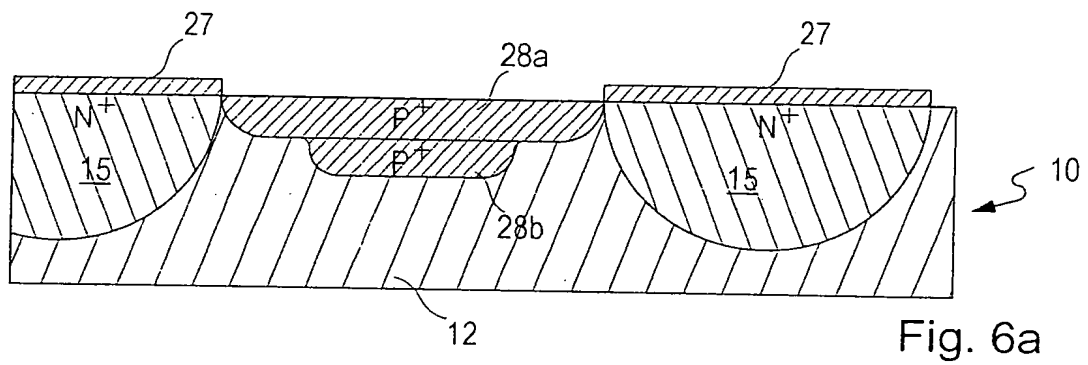




3 / 5



4 / 5



5 / 5

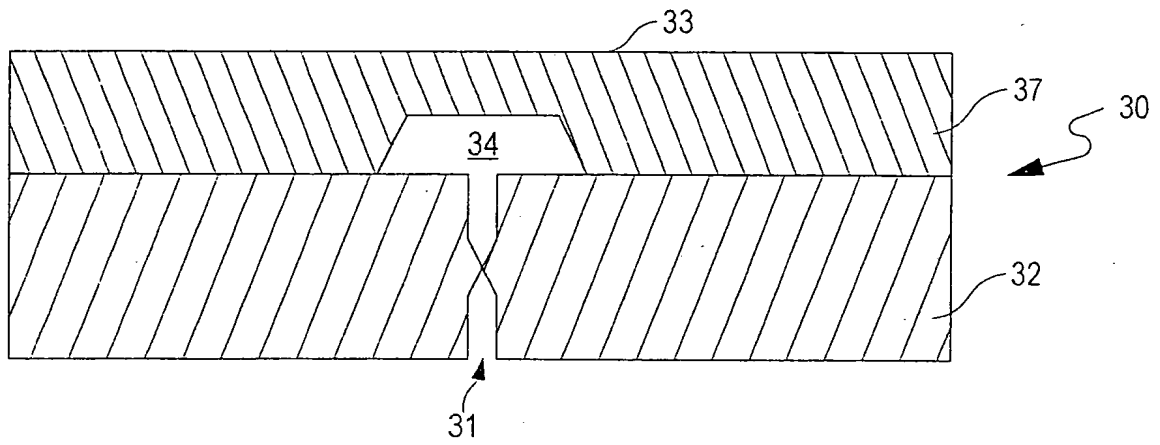


Fig. 6

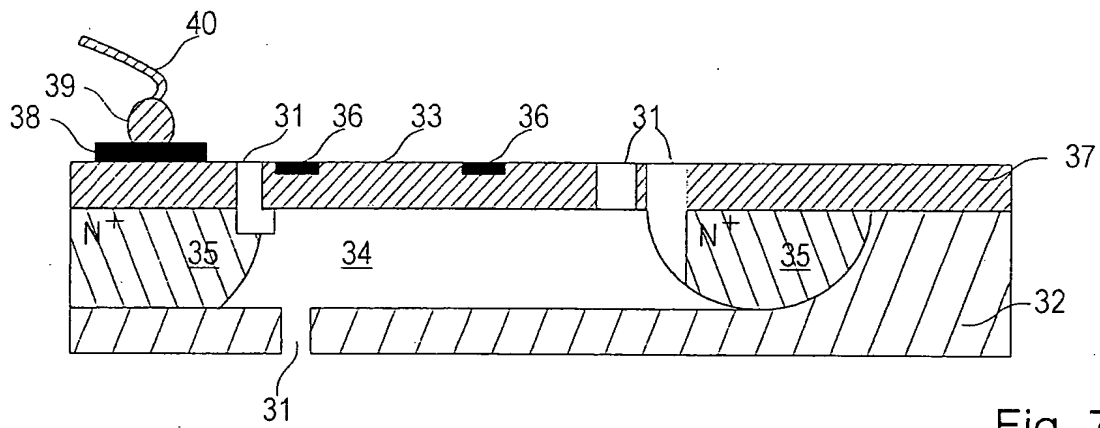


Fig. 7